المكتبة الوطنية ...
المكتبة رقم 26

22 1

4ème Cours

PHASES DE L'ETUDE D'UN PROJET DE RESEAU COLLECTIF D'IRRIGATION SOUS PRESSION.

A. Nécéssité des études préliminaires au calcul du projet

Inconvénients de la sécheresse (la pluie est un phénomène trés aléatoire).
- Réduction des rendements -> suppression de toute récolte des cultures existantes.
- Impossibilité de diversifier les cultures et de faire plus d'une récolte/an.

D'où les avantages qu'apporte l'irrigation dans le périmètre.
Attention cependant au risque de permettre la survie de troupeaux surabondants qui risquent d'accentuer la désertification des sols autour du périmètre par surpâturage - destruction de la végétation - désertification.

L'irrigation comprend plusieurs stades:

1. Mobilisation de la ressource en eau (prises sur cours d'eau, création de barrages réservoirs d'importance suffisante pour que l'évaporation de la saison sèche ne fasse pas disparaître toute la réserve (de nombreux lacs collinaires du Nordeste de profondeur < 2 m. Or ET ≈ 2 m.), forages en nappe, etc...)
2. Transport depuis la ressource jusqu'au périmètre (tête morte, conduite d'amenée)
3. Distribution aux parcelles regroupées en îlots d'irrigation, desservis par des prises.
4. Distribution à l'intérieur des parcelles.

Le stade essentiel est le stade 4, les 3 stades qui le précèdent, lui sont subordonnés. Il se traduit par la réalisation, et surtout le bon fonctionnement de nombreux réseaux individuels, placés en aval des prises. Le stade 3 se traduit par un réseau collectif, qui doit alimenter chacune des prises avec le débit et la pression qui sont nécessaires pour obtenir une irrigation correcte.

L'ensemble de l'aménagement d'irrigation, qui porte sur les 4 stades, exige des investissements trés importants, d'où la nécéssité avant de prendre la décision d'équiper un périmètre, de réaliser un certain nombre d'études préliminaires qui permettront d'évaluer la rentabilité de l'opération, ainsi que les modalités techniques optimales de l'ensemble et surtout des réseaux individuels et collectifs.

- Voir le schéma général des études préliminaires de SOGREAH
- Recherche des éléments de base-pédologie, climatologie, agronomie, hydrogéologie, topographie, enquête socio-économique sur la situation existante et ses possibilités d'évolution.
- Etudes préliminaires propement dites: ressources en eau - programme cultural. Délimitation du périmètre optimal puis étude sommaire de diverses solutions (APS) et détaillée du projet retenu (APD)
  . technique
  . économique
  . financière

Nous nous placerons au niveau de l'APD ou Projet qui exige le maximum de précision.

- Voir aussi le schéma que je présente, à la fois plus simple et plus complet.

B. Généralités.

On peut envisager (cas du périmétre de Tarascon) un réseau collectif basse pression pour désservir des prises à l'aval desquelles l'eau est distribuée aux cultures par des techniques d'irrigation de surface (bassins de submersion -> riz par exemple, ou raies en sol trés bien nivelé, tous les ans si possible)

Cependant, en pratique, on utilise en général des techniques de distribution (à la parcelle) se faisant également sous-pression, et qui font donc partie de deux méthodes plus modernes qui sont l'aspersion ou la micro irrigation.

L'avantage de ces méthodes est de faciliter énormément la répartition de l'eau sur les parcelles et d'éviter le nivellement du terrain.

Ce réseau est en principe ramifié, car moins coûteux qu'un réseau maillé utilisé en AEP pour éviter les coupures en cas de réparation de casse de conduite. On peut en effet tolérer en irrigation des interruptions de services de 48 heures maximum.

Le sens de circulation de l'eau dans les conduites est donc toujours le même, et, par définition, est choisi pour désigner l'amont (tête du réseau) et l'aval (antennes portant les prises). C'est l'inverse de l'amont-aval topographique puisque la station de pompage est trés souvent située à l'aval topographique du périmètre et les prises dans les parties plus hautes. Un réseau d'irrigation ramifié fonctionne à l'envers d'un réseau hydrographique normal.

La durée annuelle de fonctionnement est variable en fonction du climat et des cultures pratiquées. Cette utilisation est également variable au cours de chaque période annuelle de fonctionnement et elle est maximale en période de pointe (mois de juillet en général dans l'hémisphère Nord) et le débit de pointe est celui dont la probabilité de dépassement reste suffisamment faible.

Il peut arriver que le réseau alimente aussi en eau les exploitations (abreuvement des animaux, desserte en eau des habitations aprés stérilisation) ou qu'il serve en culture abritée (petits tunnels ou serres) pour permettre des cultures de contre saison, ce qui est favorable à une rentabilisation plus rapide. Mais on calcule toujours le réseau pour satisfaire les besoins en eau de la période de pointe économiquement optimale. (quinquennale ou décennale c'est-à-dire 8 ou 9 années sur 10).

Les logiciels, établis par la division Irrigation du CEMAGREF à Aix-en-Provence, permettent, en plus du calcul du réseau, d'en simuler le fonctionnement hydraulique ou de calculer le renforcement d'un réseau existant.

Voir le catalogue des logiciels: "Xerxés Renfors": calculs des débits de pointe
optimisation des diamètres
renforcement du réseau.

"Icare"
"Bel" et "Cebelmail"

PHASES DE L'ETUDE

- Il y a cependant des phases (implantation des bornes tracé du réseau), non traitées par ordinateur, qui sont effectuées manuellement, et où l'expérience du projeteur et la configuration du terrain restent des éléments fondamentaux de la conception du réseau.

- Une fois le réseau tracé, c'est-à-dire aprés avoir relié les bornes par un réseau de conduites ramifié, on peut déterminer les diamètres de ces conduites d'une infinité de façons possibles. Mais on doit déterminer la solution optimale, c'est-à-dire ayant le coût minimal. On utilise dans ce but une méthode de calcul exacte, qui est la méthode discontinue de Labye, qui était chef de la division calcul au CEMAGREF. Cette méthode a été adoptée par tous les pays et traduite dans des logiciels d'optimisation.

- Auparavant, on doit déterminer, pour chaque tronçon (élément du réseau ayant un débit différent des éléments amont et aval) son débit maximal, dit débit de projet. On peut utiliser un tour d'arrosage, mais pour laisser le maximum de liberté à chaque irrigant il est préférable d'adopter le principe de fonctionnement dit "à la demande", c'est-à-dire "en libre service" (la demande dans le réseau américain étant un mode particulier de gestion par tour d'arrosage mais revu en permanence en fonction des demandes formulées par les usagers au moins 48 heures à l'avance). C'est en France que ce principe a été mis au point, par René CLEMENT, Ingénieur de Génie Rural dans les années 1955-1960.

Dans le logiciel "Xerxés-Renfors", calcul des débits puis optimisation des diamètres sont réalisés successivement.

- Quand les diamètres sont calculés, on peut revoir le tracé du réseau en tenant compte des différences de diamètres, donc de coût. Puis on refait le calcul des débits et des diamètres, en appliquant une 2éme fois le logiciel "Xerxés-Renfors". On recommence le cycle jusqu'à arriver à ce qu'il n'y ai plus de modifications.

- Enfin on peut chercher à mieux connaître le fonctionnement du réseau :

* soit par simulation des régimes permanents

* soit par étude statistique des divers cas de fonctionnement (ouverture de tel ou tel ensemble de bornes, tirées au hasard pour un débit en tête donné) en traçant les courbes carcactérisées indicées en % de probabilité de fonctionnement.

Ces études détaillées, dues à Maurice MEUNIER (CEMAGREF Aix), sont réalisées aisement grâce au logiciel "ICARE".

C. Conception et calcul des réseaux collectifs de distribution sous pression.

Les réseaux d'irrigation modernes sont caractérisés par les orientations suivantes:

- à la parcelle, utilisation de matériels de distribution sous pression:

* assurant une meilleure uniformité d'arrosage avec une main d'oeuvre réduite et moins spécialisée

* ne nécessitant pas un nivellement précis de la surface du sol, comme en irrigation de surface

* alimentées à partir de prises particulières à chaque îlot d'exploitation et regroupées si possible par 2, 3 ou 4 sur des bornes d'arrosage pourvues d'une vanne d'arrêt ainsi que, pour chaque prise, une régulation de pression, un limiteur de débit et un compteur permettant de connaître les débits et les doses délivrées à chaque arrosage.

- en amont des parcelles, un réseau collectif de distribution sous pression aux bornes du périmètre

* avec distribution de l'eau à la demande, terme impropre mais dont l'usage s'est généralisé. On devrait dire "en libre service", pour distinguer de "l'irrigation on demand" qui est une distribution par canaux où les usagers doivent effectuer la demande en débit et en temps d'arrosage, au moins 48 heures à l'avance, au gestionnaire du réseau, chaque irrigant étant libre d'utiliser à toute heure du jour ou de la nuit le débit qu'il a souscrit (chaque année).

* avec vente de l'eau sur la base du débit souscrit et du volume effectivement prélevé, indiqué par les relevés du compteur individuel.

Les méthodes d'irrigation utilisées sont, sauf exception [desserte en réseau basse pression de la plaine de Tarascon en France et utilisation de l'eau en irrigation de surface améliorée, grâce à des matériaux modernes: tuyaux souples et tubes à vannettes pour les raies transirrigation ("cabligation" améliorée)] soit l'aspersion, soit la micro-irrigation selon les cultures pratiquées.

Dans chaque cas, il convient, avant tout de définir clairement les conditions de la desserte en eau aux irrigants: 3 points:

1er point: Les conditions hydrauliques, qui sont le débit maximal délivré à chaque prise et la pression minimale garantie.

Le débit maximal dépend du limiteur de débit choisi dans une gamme normalisée par l'irrigant lors de sa souscription annuelle. Ce limiteur interdit les dépassements de débit car, au delà d'un certain appel de débit défini par le nombre d'asperseurs du poste ou par la base de l'enrouleur, la pression chute et empêche le fonctionnement normal du matériel.

La pression minimale, par contre, est un des éléments essentiels du calcul du réseau collectif. La majorité des réseaux est conçue avec une pression disponible, à l'amont des bornes, de 3,5 à 4,5 bars qui correspond à l'utilisation d'asperseurs de taille moyenne fonctionnant à moyenne pression, avec un espacement maximal de 24m entre asperseurs.

D'autres réseaux ont été conçus pour l'utilisation de machines à irriguer, et notamment d'enrouleurs nécessitant une pression à la borne de l'ordre de 8 à 10 bars. La haute pression permet aussi l'utilisation à poste fixe, d'asperseurs haute pression ou canons disposés en couvertures automatiques haute pression .

Dans le choix entre asperseurs haute pression, asperseurs basse pression et micro-irrigation (2 bars environ en amont de la borne), il faut tenir compte, non seulement des coûts d'investissement et des coûts actualisés des frais d'exploitation et de maintenance de toutes les solutions possibles, mais également des autres aspects :

* économie d'eau liée à la localisation ou la non-localisation de l'eau sur la parcelle, ou à l'uniformité de l'aspersion (inversement proportionnelle à l'espacement des asperseurs).

* considérations agronomiques tenant à la sensibilité des cultures mécanique, chimique etc... et des sols (leur structure étant plus ou moins sensible à la grosseur des gouttes, à leur énergie cinétique ainsi qu'à la pluviométrie instantanée au niveau du sol).

2ème point: Les conditions d'accès à la prise d'irrigation.

La prise desservant une parcelle peut être au milieu de la parcelle, en bordure de sa façade sur le chemin d'accès, en limite de la parcelle voisine, ou bien à une certaine distance nécessitant l'utilisation d'une conduite d'approche, disposée en limite des parcelles voisines.

Le plan d'implantation des bornes, qui regroupent chacune jusqu'à 4 prises et parfois davantage, dans le cas de trés petit parcellaire, où l'on peut espérer un regroupement ultérieur des parcelles exploitées (à défaut d'un remembrement préalable), matérialise un compromis entre l'intérêt des usagers (dont chacun souhaiterait disposer d'une borne individuelle, idéalement placée) et l'intérêt de la collectivité maître d'ouvrage qui cherche à limiter le nombre des bornes pour réduire le coût du réseau collectif.

Pour réduire les pertes de charge du matériel mobile des usagers, le rayon d'action de chaque prise est souvent limité:

* à 200 m environ pour des petits îlots de quelques ha.
* à 500 m environ pour des grands îlots de 10 ha environ.

- X La base du regroupement des prises sur la même borne est le découpage du parcellaire en îlots d'exploitation. Les bornes seront implantées de préférence en bordure des îlots, pour en desservir plusieurs ensemble, sauf pour les plus grands où la borne, équipée d'une seule prise, sera implantée de préférence au centre de l'îlot à desservir.

La différence de coût entre des structures plus ou moins lâches peut atteindre 10 à 20 %.

Plus la structure est serrée, plus l'investissement du réseau collectif augmente, mais plus les investissements individuels sont réduits. Le coût d'exploitation (entretien et relevé des compteurs) augmente également pour l'organisme gestionnaire, mais celui-ci peut répercuter l'augmentation sur les usagers (redevance de relevé de borne).

3ème point: Les modalités d'utilisation de la prise.

X 1) L'irrigation dite à la demande, qui laisse l'agriculteur entièrement libre d'utiliser sa prise quand il le veut est la solution la plus fréquemment retenue en France et ses avantages sont notables par rapport aux contraintes du tour d'eau (variation des besoins en polyculture, pas de gêne dans l'organisation du travail de l'exploitation).

2) L'irrigation au tour d'arrosage, à module fixe ou variable, présente l'inconvénient, par rapport à la distribution par canaux à ciel couvert, d'une surveillance plus difficile des fraudes possibles, car il n'y a pas de répercussion immédiate sur le voisin, en plus des sujétions sur les irrigants eux-mêmes. On peut envisager de faire un tour d'arrosage au niveau de la borne ou d'une antenne du réseau.

3) L'irrigation à la demande restreinte est une autre solution qui consiste à réduire le temps de fonctionnement autorisé, à 1 jour sur 2, les jours pairs pour les bornes dont le numéro est pair, les jours impairs pour les bornes impaires.

La parité ou l'imparité peut être remplacée par la couleur (bleue ou rouge par exemple) ce qui facilite le contrôle. Chaque îlot fonctionne à la demande pendant la moitié du temps.

Il en résulte des économies sur le dimensionnement des conduites (-15 % sur le coût total pour la demande restreinte; - 30 % pour le tour d'arrosage) mais les contraintes sont difficiles à supporter par les irrigants.

Avant d'effectuer le calcul du réseau proprement dit, nous allons examiner 2 questions :

1ère question: Comment décrire le réseau, lors de l'entrée des données dans l'ordinateur ?

Il faut adopter une technique particulière, qui facilite la description.

Puisque dans un réseau ramifié, l'eau s'écoule toujours dans le même sens (amont->aval), à chaque tronçon correspond son extrémité aval appelé noeud. On a seulement besoin de numéroter les noeuds, et un tronçon peut être défini soit par son origine et son extrémité (soit 2 noeuds) soit seulement par son extrémité aval.

On introduit en même temps les caractéristiques du tronçon (longueur, débit et diamètre s'il est connu ou imposé) et les caractéristiques du noeud aval (cote du sol, pression désirée à la prise, etc...)

2 règles à respecter:

* un tronçon ne peut se diviser, vers l'aval, en plus de 2 tronçons.

* chaque noeud ne peut porter plus de 4 prises (1 borne à 4 sorties)

D'où modification de la description des réseaux, par adjonction de tronçons fictifs de longueur nulle, dans le cas où l'une de ces règles ne serait pas respectée. **voir transparent**

2 méthodes de numérotation des noeuds: (voir transparent)

1ère méthode: on numérote de l'amont vers l'aval en utilisant une hiérarchie des numéros: 1 à 99 pour la conduite principale et les petites antennes qu'elle porte

101...201...301...pour les 1ère 2éme et 3éme conduites dérivées.

Un numéro de noeud doit être plus grand que tous les numéros des noeuds situés en amont.

avantage : on peut rajouter plus facilement des tronçons.
Inconvenient : méthode lourde, rigide et sujette à erreurs.

2ème méthode : dite de parcours et jonction : on numérote de l'aval vers l'amont.

On part d'un noeud d'extrémité quelconque et on accroît d'une unité, en remontant vers l'amont. Arrivé à une jonction avec un autre réseau, on repart d'une des extrémités du réseau et ainsi de suite.

avantage : méthode simple, facile à utiliser, nombres en général inférieur à 999.

Inconvénient : on ne peut pas rajouter un tronçon nouveau, sauf à prendre pour ce tronçon le numéro du tronçon le plus proche multiplié par 10.

2ème question : Comment déterminer les pressions et les débits aux bornes?

Pressions et débits dépendent :

- d'abord des matériels d'irrigation à la parcelle qui seront adoptés par les agriculteurs.
- ensuite de la gamme existante des limiteurs de débit et pour les pressions, du choix fait pour l'ensemble du périmètre, d'une pression minimale de fonctionnement correspondant à un certain type de matériel. Par exemple, on peut limiter la pression, sur les bornes les plus défavorisées, à un niveau ne permettant d'utiliser que des asperseurs à moyenne pression et non des canons. Si l'irrigant veut absolument utiliser des canons, il devra installer un surpresseur.

Pressions minimales adoptées en fonction des matériels de distribution à la parcelle.

a) asperseurs à perte fixe (couverture mobile ou intégrale), la pression dépend essentiellement des espacements entre asperseurs.

pour	6 x 6	il faut au moins	1,5 bar	à l'asperseur	
pour	12 x 12	faut au moins	2,0 "	"	↑ moyenne pression
" "	18 x 18	moyenne	2,5 "	"	
" "	24 x 24	pression	3,0 "	"	
" "	42 x 42	haute	4,0 "	"	↓ haute presssion
" "	63 x 63	pression	5,5 "	"	
" "	90 x 90		7,0 "	"	

En plus, il faut ajouter les pertes de charge dans les rampes et éventuellement le supplément de charge représenté par la difference de cote entre la borne et l'asperseur le plus élevé

b) Canons automoteurs (enrouleurs, traveleurs) 6 à 9 bars selon débit et portée

c) rampes articulées pivotantes ou frontales

- avant la crise du pétrole, les rampes portaient des asperseurs -> 5 à 6 bars en tête et plus si canon d'extrêmité.
- Depuis la crise, on a trouvé diverses solutions pour réduire à 2 bars et même moins diffuseurs moins exigeant en pression pour la rampe puis suspendus :
  - juste au dessus de la culture
  - juste au dessus du sol, dans la culture
  - au sol, creusés de cuvettes artificielles

avec des pondillonds

(1 bar suffit alors pour ce que j'ai appelé la micro-irrigation mobile) voir article du génie rural.

d) micro irrigation (en fixe)

Au niveau des distributeurs, la pression classiquement adoptée est de 1 bar mais il faut y ajouter les pertes de charge dans les portes rampes et dans certains appareils (coudes, tés, vannes = 10% en plus) + dans les appareils de filtration (0,5 bar le plus souvent).

Si l'eau est sale, il est peu prudent de descendre en dessous de 2 bars à la borne.

Dans certains cas (parcelles petites et planes), on peut fonctionner à moins de 1 bar en augmentant le diamètre des conduites et les rampes pour garder une bonne uniformité en réduisant les pertes de charge.

DEBITS : Ils doivent permettre d'alimenter en période de pointe l'appareil le plus exigeant qui sera utilisé sur la parcelle.

* Cas de machines à irriguer : le débit dépendra de la machine qui conviendra pour irriguer la parcelle.

* Cas des appareils (asperseurs ou distributeurs de micro-irrigation) fonctionnant à poste fixe.

Pour les petites parcelles, l'irrigant cherchera à irriguer en une seule fois d'où un débit/ha important.

Pour les grandes parcelles, il irriguera en plusieurs postes, et s'il peut fonctionner 24 heures sur 24, il peut se contenter du débit fictif continu correspondant à la surface irriguée.

Dans certains cas, le débit délivré correspondra à l'ensemble de l'exploitation si elle est groupée et l'irrigant pourra utiliser le débit sur une parcelle, puis une 2ème etc... Il organisera son propre tour d'arrosage, et s'il a du matériel de poste fixe ou assez de personnel, il pourra facilement se contenter d'un débit proche du débit fictif continu. (un peu plus pour tenir compte des changements de poste). En aspersion, les arrosages de nuit sont non seulement possibles mais préférables, et seules les heures les plus chaudes ou les plus ventées seront à éviter.

Exemple de débits des prises : à Aix, la S.C.P a adopté 6 classes de débit (6 limiteurs) et de plus elle limite le débit maximal à souscrire en fonction de la surface de l'îlot d'irrigation.

Type	Surface îlot d'irrigation	classe	débit	débit/ha	confort pour un besoin de 8mm/j
Petites propriétés	0 à 0,75ha	0	7,5m3/h	00 -> 10	00 à 3
	0,75 à 1,50ha	1	15 m3/h	20 à 10	6 à 3
	1,50 à 3,0 ha	2	20 m3/h	20 à 10	6 à 3
	3,0 à 5,5 ha	3	50 m3/h	16,6à 9,09	4,98 à 2,72
grandes propriétés	5,5 à 8,0 ha	4	75 m3/h	13,6à 9,4	4,08 à 2,82
	8,0 à 11,0ha	5	100m3/h	12,5à 9,1	3,75 à 2,73

Rappel : 1mm/j=10m3/j/h=10m3/h/ha=0,417m3/h/ha
--
24
5mm/j=" " " =2,083" "
8mm/j=" " " = 3,333 " "
] en débit fictif continu

Observations

1. Le regroupement des débits de prise en classes peu nombreuses facilite le calcul du débit de calcul des tronçons, alors que si chaque prise était dotée d'un débit particulier, proportionnel à sa surface par exemple, il y aurait autant de classes de débit que de prises.

2. Le risque de non satisfaction reste trés faible car:

- il ne peut se produire que quand le réseau est saturé (différence entre desserte exhaustive et desserte à des souscripteurs immédiats).
- il est limité, lorsque le réseau est saturé, à la seule période de pointe ≈ 1 mois.

Dans la période de développement de l'irrigation dans le périmètre, on peut accorder temporairement des souscriptions de débit supérieurs aux débits de prise théoriques retenus pour le calcul du réseau.

De plus, même en régime de croisière, il y a chaque année, pour des raisons diverses, assolements, maladies ... des parcelles qui ne seront pas irriguées, donc pas souscrites ce qui permet des dépassements de confort à certains usagers.

3. Le débit moyen adopté en France Sud est proche de 12 m3/h/ha.

Comme, pour de nombreux réseaux parcellaires, la pluviométrie horaire est de l'ordre de 7 mm, soit 70m3/h, ce débit de prise permet d'irriguer une parcelle en

$\frac{70}{12} \approx 6$ postes

Mais, avec des asperseurs de qualité, on peut, avec la même qualité d'arrosage, réduire la pluviométrie à 5mm/h, ce qui est trés possible avec des asperseurs à poste fixe, le nombre possible de postes, se réduit à

$\frac{50}{12} \approx 4$ postes, de plus longue durée pour apporter la même dose.

<u>Il y a plusieurs avantages:</u>

- meilleur respect de la structure des sols (moins de risque de battance en sol nu).
- on évite les changements de poste de nuit.

On peut également conserver 6 postes et réduire le débit souscrit de

$\frac{7-5}{7}$ # 28% donc réduire la redevance fixe de l'irrigant.

Si tous les irrigants font de même, on peut réaliser des réseaux moins chers et avec une qualité d'arrosage améliorée.

Enfin si les irrigants sont équipés en matériel fixe (couverture intégrale, aspersion ou micro-irrigation, sur arbres fruitiers par exemple) ils peuvent se contenter, en irrigant 24h/24h en pointe, d'un débit d'équipement peu supérieur au débit fictif continu ce qui réduit considérablement les débits de prise, donc les diamètres, donc le coût. Il y a cependant des risques, car on revient à une distribution rigide, sans confort, ne tolérant ni pannes de pompage, ni casse, en période de pointe, ni arrêt de fonctionnement dû au vent trop fort (aspersion).

Cette solution économique ne peut être envisagée que dans des cas trés particuliers (eau rare et chère, financement limité, agriculteurs motivés et équipés du matériel de distribution adéquation (par exemple couverture intégrale, et si possible micro-irrigation), et en prenant toute précaution dans la gestion du réseau pour supprimer ou réduire toute interruption du service en période de pointe ce qui implique:

- une qualité d'exécution impécable
- un entretien soigné du réseau et stockage du matériel de rechange (groupes de secours...)
- aucune interruption de l'alimentation en eau du réseau (alimentation gravitaire ou réseau éléctrique de qualité execptionnelle).

-des équipes de dépannage efficaces et toujours disponibles pendant la pointe.

Ceci vous montre combien le dimensionnement du réseau est lié à la fois à l'aval (technique d'arrosage plus ou moins efficace et qualité plus ou moins grande des matériaux de distribution à la parcelle).

et à l'amont (qualité d'exécution et de maintenance du réseau électrique) comme à sa propre qualité d'exécution et de maintenance.

et surtout au comportement des irrigants, qui doivent utiliser leur matériel de la façon la plus efficace possible (uniformité d'arrosage élevée, excellent pilotage avec constitution de réserves hydrique dans le sol avant la période de pointe, rationnement des cultures qui sont en phases végétatives peu sensibles, choix dassolement évitant de faire coincider les ETM ou phases critiques avec la période de pointe.

Le choix du niveau de confort doit être soigneusement étudié, tant avec les futurs usagers du réseau qu'avec les fournisseurs de matériels (pour le réseau collectif et les réseaux individuels).

La marge d'amélioration possible, par rapport aux errements actuels, est grande, mais les risques liés, soit à la qualité des matériels, soit au comportement humain (irrigants + personnel d'entretien du réseau collectil) sont également grands, et ne devrant jamais être sousestimés. C'est au concepteur à choisir le risque qu'il peut se permettre de prendre dans chaque cas particulier.

DETERMINATION DES DEBITS A VEHICULES DANS LES DIVERS TRONCONS D'UN RESEAU COLLECTIF.

Cas de la distribution au tour d'eau : c'est trés simple.

A. Tour d'eau au niveau de la borne.

. on définit pour chaque borne le module à délivrer.

. puis on calcule le débit chaque tronçon par sommation des modules des bornes qu'il dessert, c'est-à-dire à son aval.

B. Tour d'eau au niveau de l'antenne.

. On définit d'abord des unités (desservies chacune par une antenne) aussi homogènes que possible. Ce qui est à faire avant l'étude du tracé du réseau.

. On définit ensuite le débit à délivrer à chaque antenne (en tête de laquelle sera placé un limiteur de débit de calibre approprié).

. Enfin, on calcule le débit de chaque tronçon par sommation comme ci-dessus. Le débit en tête est théoriquement égal au débit fictif continu du périmètre. Cependant, même si la matériel à la parcelle est bien adapté à une utilisation continue du débit, il y a des temps morts pour passer d'un poste au suivant et il est prudent de majorer de 5 à 10% les débits strictement nécessaires.

L'avantage est la réduction de l'investissement (30%), l'inconvénient les difficultés de surveillance du tour d'eau et les contraintes des irrigants, bien que celles-ci soient, en aspersion ou en micro-irrigation, atténuées par rapport à l'irrigation de surface, puisqueles postes sont plus longs et que la présence de l'irrigant n'est nécessaire que pour le début et l'arrêt de l'arrosage. En aspersion moyenne pression par exemple, la pluviométrie peut être suffisamment faible pour que les postes durent toute la nuit (50mm/ à 5mm/h -> durée d'arrosage 10h) et les arrosages de nuit sont toujours préférables en aspersion (moins des vent -> meilleure uniformité et moins de pertes par évaporation d'où meilleure efficacité de l'eau apportée aux cultures).

Cas de la distribution à la demande : c'est plus complexe car les appels de débit sont totalement libres (dans la limite du débit souscrit) donc aléatoires. *René CLEMENT*, ingénieur du Génie Rural a proposé 2 modèles pour schématiser ce qui se passe dans le réseau et pouvoir évaluer un débit de calcul pour chaque tronçon du réseau. Le premier qui est le plus simple fait appel au calcul des probabilités et a conduit à la première formule de la demande, qui donne des résultats satisfaisants par rapport à la deuxième formule de la demande qui fait appel aux phénomènes stochastiques (chaines de Marker). Nous nous limiterons donc à la 1ére formule.

Première formule de la demande :

Le débit affecté à chaque prise est supérieur au débit fictif continu qui lui est nécessaire, c'est-à-dire, que chaque agriculteur n'utilisera en fait sa prise que pendant une durée qui, en moyenne, sera nettement inférieure à 24h/jour. Donc la probabilité que toutes les prises soient ouvertes en même temps est infime et il ne serait pas raisonnable d'additionner les débits de toutes les prises qui sont en aval. On doit faire un calcul de probabilité.

Supposons d'abord que le réseau situé à l'aval du tronçon étudié soit équipé de R prises homogènes, donnant le même débit d. Les débits maximaux se produiront pendant la période de pointe d'arrosage caractérisée par:

T durée totale de la période (mois en décade)
T' durée réelle d'utilisation du réseau
r rendement d'utilisation en temps du réseau = $\frac{T'}{T}$

D débit fictif continu.

On en déduit le <u>temps moyen de fonctionnement des prises</u>

$$t = \frac{\text{volume}}{\text{débit}} = \frac{DT/R}{d} = \frac{DT}{Rd}$$

L'hypothèse de base du modèle consiste à admettre que les diverses prises sont <u>indépendantes</u> et qu'elles fonctionnent de manière <u>aléatoire pendant la période T'</u> d'où la fréquence (ou probabilité) de fonctionnement de chaque prise:

$$\boxed{p = \frac{t'}{T'} = \frac{DT}{Rd} \times \frac{1}{rT} = \frac{D}{rRd}}$$

On a donc une population de R prises dont chacune est, soit ouverte, soit fermée, avec les probabilités respectives p et q = 1-p.

Le nombre de prises ouvertes n est donc une variable aléatoire qui suit la loi binomiale de moyenne Rp et de variance Rpq

La probabilité Pq pour que, sur les R prises qui constituent le réseau, il y ait au plus N prises en fonctionnement simultané est:

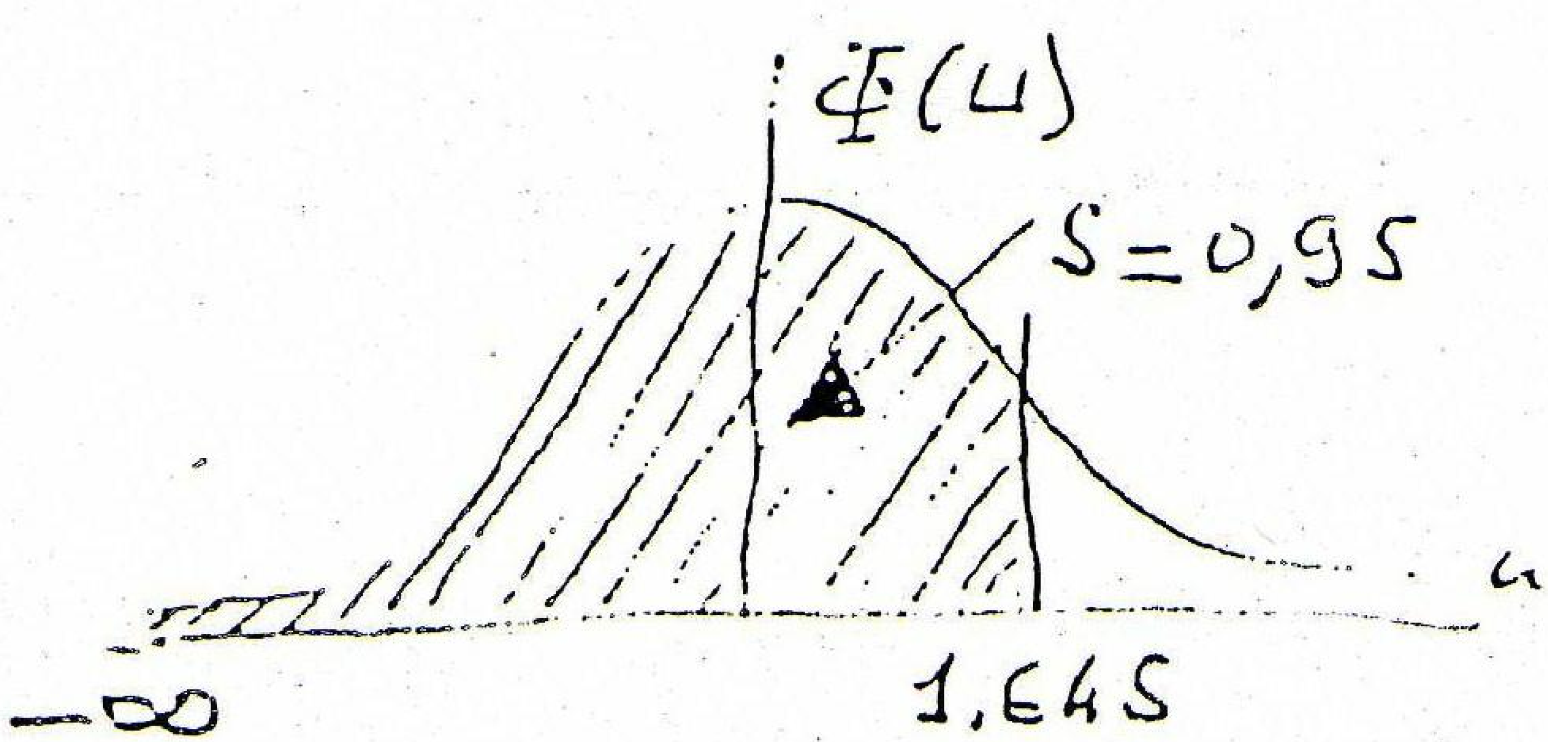
$$Pq = \sum_{i=1}^{i=N} C_R^i \cdot p^i q^{R-i} \qquad \left(C_R^i = \frac{R!}{i!(R-i)!}\right)$$

Où C_R^i est le nombre de combinaisons de objets i à i.

Pour R assez grand et p pas trop petit, on montre en calcul des probabilités que la loi binomiale peut être assimilée à la loi normale (loi de Gauss-Laplace). Pq peut donc être calculé par la fonction intégrale de la loi normale centrée réduite

$$\Pi(u) = \int_{-\infty}^{u} \phi U \, du$$

$$\phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2m}} e^{\frac{-u^2}{2}}$$



La fonction intégrale $\eta(U)$ a été tabulée et on peut y relever les valeurs suivantes:

U	$Pq=\eta(U)$
2,324	0,99
1,645	0,95

Appelons N le nombre de prises ouvertes pour lequel le tronçon étudié sera calibré. Choisissons une <u>qualité de fonctionnement Pq</u>, représentant le pourcentage de chances pour que le nombre réel de prises ouvertes soit inférieur ou égal à N. On a la relation :

$$N = Rp + U(Pq)\sqrt{Rpq} = \text{débit moyen} + U\sqrt{\text{variance}}$$

où le paramètre U çorrespond à la valeur choisie pour la qualité de fonctionnement Pq.

Le tronçon est donc calibré pour le débit Nd = Q

$$Q = \underbrace{Rpd}_{\text{débit moyen de fonctionnement}} + U(Pq)\underbrace{\sqrt{Rqpd2}}_{\text{variance du débit.}}$$

Cette formule se généralise aisément à un réseau comportant m classes de prises ayant chacune des débits identiques d. Pour chaque classe i de débit di comportant Ri prises, on définira la probabilité de fonctionnement pi et le débit total d'un tronçon en période de pointe sera :

$$Q = \sum_{i=1}^{i=m} R_i p_i d_i + U(Pq)\sqrt{\sum_{i=1}^{i=m} R_i p_i q_i d_i^2}$$

<u>Valeur des paramètres r et U</u>

- <u>le rendement du réseau</u> r n'a pas de signification physique réelle, c'est plutôt un <u>coefficient d'ajustement</u> du modéle au comportement réel des irrigants.

On adopte couramment des valeurs de l'ordre de 0,75.

- <u>La qualité de fonctionnement</u> Pq qui est une probabilité, est couramment prise égale à 95% d'où U = 1,645.

mais, compte tenu des hypothèses faites, on adopte en bout de réseau un raisonnement déterministe en cumulant les débits de prises tant que leur nombre reste faible (4 à 10 selon les projeteurs).

<u>Evaluation du surcroît de débit par rapport au débit fictif continu p.p</u>

Cet accoissement, qui entraîne un surdimensionnement du réseau , est défini par le rapport

$$\frac{Q}{D} = \frac{\text{débit du réseau fonctionnant à la demande}}{\text{débit fictif continu}}$$

La liberté ou confort dont disposent les agriculteurs dans l'organisation de leurs arrosages est définie par le rapport

$$\frac{Rd}{D} = \frac{\text{débit installé aux prises}}{\text{débit fictif continu}}$$

Pour chaque classe de prise, on a : (formule de la durande)

$$Q = Rpd + U\sqrt{Rpqd^2} \quad \text{mais } Rpd = \frac{D}{r} \text{ et } q = 1-p = 1-\frac{D}{rRd}$$

$$\text{d'où } Q = \frac{D}{r} + U\sqrt{\frac{D}{R}\left(1-\frac{D}{rRd}\right)d}$$

$$\text{et } \boxed{\frac{Q}{D} = \frac{1}{r} + U\sqrt{\frac{1}{rR}\left(x-\frac{1}{r}\right)}} \rightarrow \frac{Q}{D} = f(R) \text{ pour diverses valeurs de } x$$

On voit que l'irrigation à la demande entraîne une forte majoration du débit quand le nombre de prises est faible, mais que, dès que le nombre devient important cette majoration devient relativement faible. Pour 100 prises par exemple le débit de pointe est supérieur au débit fictif continu de 50 à 65% lorsque le débit installé passe de 2 à 4 fois le débit continu fictif Si les 100 prises ne sont plus homogènes mais réparties en plusieurs classes, $\frac{Q}{D}$ serait supérieur .Mais il demeure que la prise en considération du foisonnement de la demande conduit à calibrer les canalisations, surtout en tête du réseau pour les débits largement inférieurs aux débits cumulés.

En pratique, comme les diverses cultures ne sont pas réparties sur le périmètre de façon parfaitement homogène et que la proportion irriguée de ces cultures varie également selon les zones, il faudrait tenir compte de la variabilité speciale du débit fictif continu/ha suivant la répartition des cultures.
de K -> rapport d'intensification = surface irriguée / surface équipée.

Le débit fictif continu D d'une zone équipée Se est alors D = v.k.Se
On peut suivant les cas faire v et K ou se contenter de leurs moyennes sur l'ensemble du périmètre.

Il parait logique de prendre des valeurs moyennes en tête de réseau et des valeurs plus adaptées dans les extrémités, v et K devenant alors des fonctions de Se.

<u>Exemple de calcul d'un petit réseau :</u>

S = 240 ha. v = 0,6l/s/ha K = Si/Se = 0,5

<u>1) Desserte à la demande</u>
-plan des bornes-20prises-18 bornes S/prise = 12 ha équipés
-tableau des débits affectés aux prises-graphique d'affectation des classes de prise.(7 classes)
-tracé du réseau (tenant compte des contraintes de terrain) -> 7.675ml soit 32,3m/ha équipé.
-paramètres de calcul des débits aux bornes : r = 0,75(rendement en temps d'utilisation du réseau)

Pq = 0,95 (qualité defonctionnement) -> U = 1,645
nombre de prises cumulées en bout d'antenne : 4.
-tableau du calcul des débits par la formule de la demande.
par tronçon désigné par son extrémité aval.

S irriguée.D = 0,6 Si Ni nombre de prises désservies par class de débit

Débit total installé $\sum NiDi$

$$\text{Débit de pointe } Q = \frac{D}{0,75} + 1,645 \sqrt{pq \sum Nidi^2}$$

Dans le cas où le débit d'un tronçon desservant plus de 4 prises, et don calculé avec là formule de la demande, est inférieur au débit du tronço immédiatement en amont, on prend bien sûr ce dernier.

2) Desserte au tour d'arrosage.

Le réseau ne se prête pas au tour à la borne, mais moyennant modifications peut être desservi avec un tour d'arrosage sur chacune des 5 antennes asse homogènes:

Se = 237S/s = 47,5ha - Si = 23,75ha x D =23,75 0,6=14,25l/s=51,3m3/h.

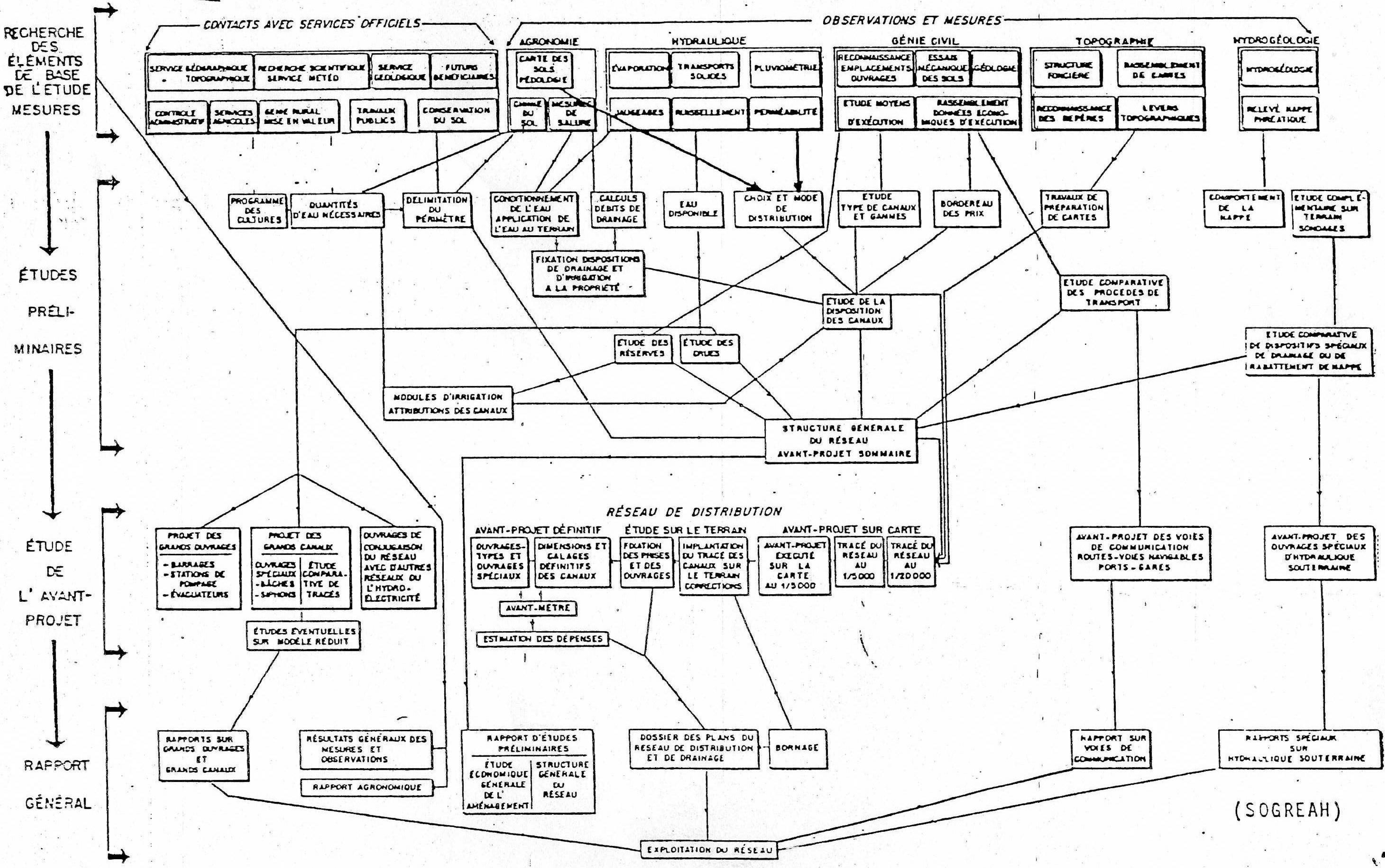
->module adoptée 55m3/h.

Longueur tracé 8.165m soit 34,4m/ha >tracé à la demande.

Calcul des débits par cumul des débits amont.

A priori plus cher : un seul avantage : évite achat et entretien des compteur mais inconvénient :respect des tours d'eau entre les irrigants des secteurs e sutout pas de liberté pour moduler les doses en fonction de la demande réelle (pa de pilotage individuel possible) ce qui est une entrave au progrés.

SCHÉMA GÉNÉRAL D'UNE ÉTUDE D'HYDRAULIQUE AGRICOLE (RÉSEAU D'IRRIGATION)



(SOGREAH)

Phases de l'étude d'un projet de réseau d'irrigation collectif sous pression

Recherche des éléments de base | analyse fréquentielle |

- Pédologie : épaisseur des sols, texture, structure, RU, RFU....
- Climatologie : pluviométrie, température, ETP, vents .....
- Agronomie : cultures existantes, cultures possibles (plein champ, abritées)....
- Hydrogéologie : volumes et débits disponibles, qualité des eaux.....
- Topographie : → cartes à diverses échelles : 1/100.000 → 1/5.000
- Synthèse : → cartes des potentialités
- Enquête socio-économique | situation existante : parcellaire. exploitation
  | possibilités d'évolution avec irrigation

Etudes préliminaires

- Ressources en eau → création de réserves ?
- Programme des cultures - Assolements conseillés
- Besoins en eau (d'irrigation) avec leur calendrier
- Comparaison ressources-besoins année par année
  d'où | Volumes annuels
  | Débits de pointe
  nécessaires selon ≠ hypothèses
- Délimitation du périmètre optimal, après étude économique et financière

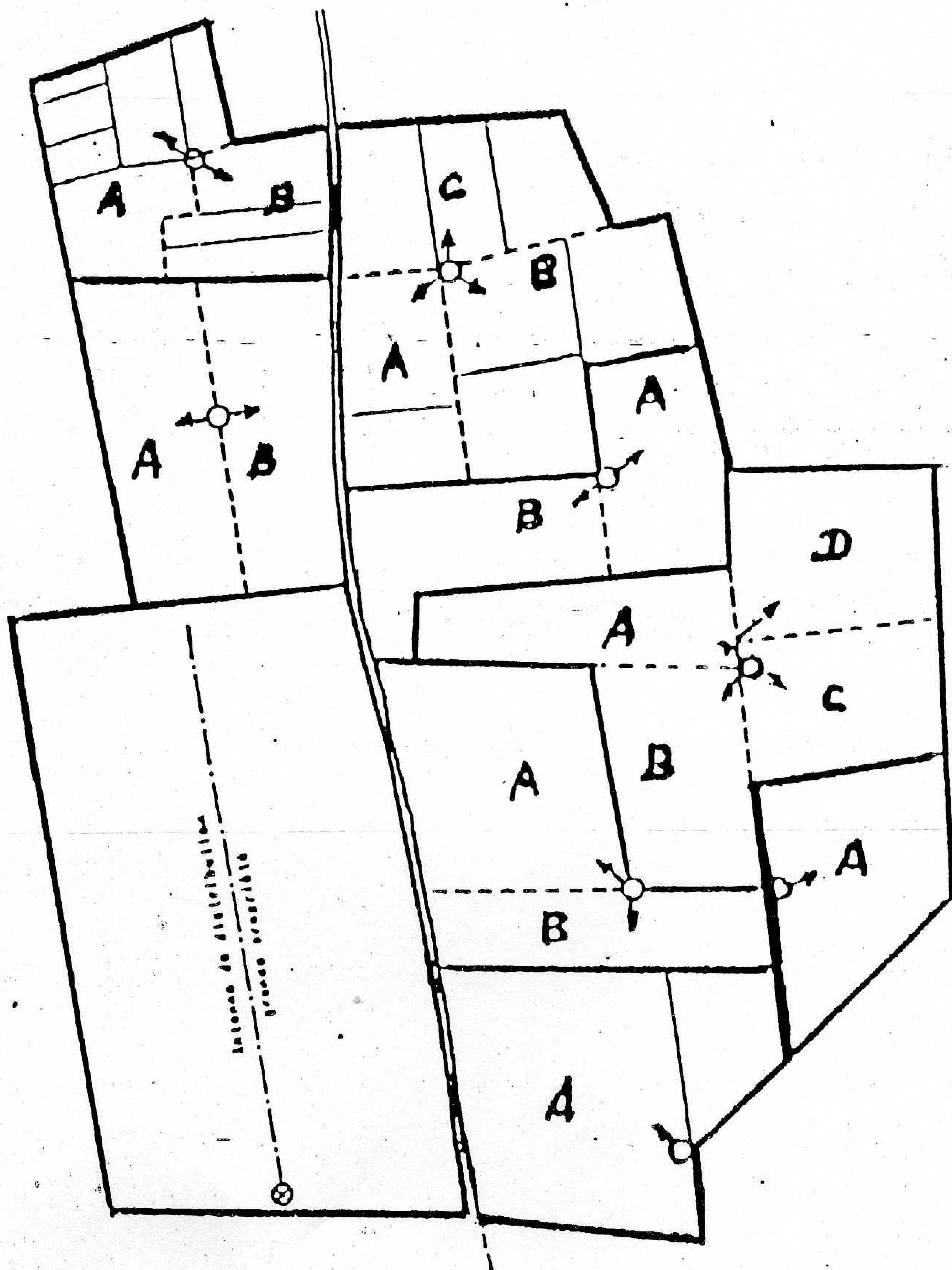
Etude sommaire de divers APS (Avant Projet Sommaire)

Etude détaillée de la solution optimale : APD (Avant Projet Détaillé)

- Détermination des îlots d'irrigation
- Position des prises → Regroupement en bornes → <u>Plan des bornes</u>
- Tracé du réseau : approximatif, puis optimisé - Récolement avec terrain
- Détermination des débits et des pressions aux bornes
- Calcul des diamètres des conduites]
- Caractéristiques de la station de pompage] <u>Optimisation</u>
- Protection anti-bélier
- Etude économique du réseau
  - Investissement - Financement → Amortissement
  - Fonctionnement → | Frais d'exploitation
    | Frais de maintenance
  - Gestion → Tarification | Principes
    | Niveau des redevances

Actualisation ressources-dépenses

Plan des bornes



—— Limites de parcelles

----- Limites d'îlots d'exploitation

━━ Limites de blocs d'îlots

(C.N.A.B.R.L.)

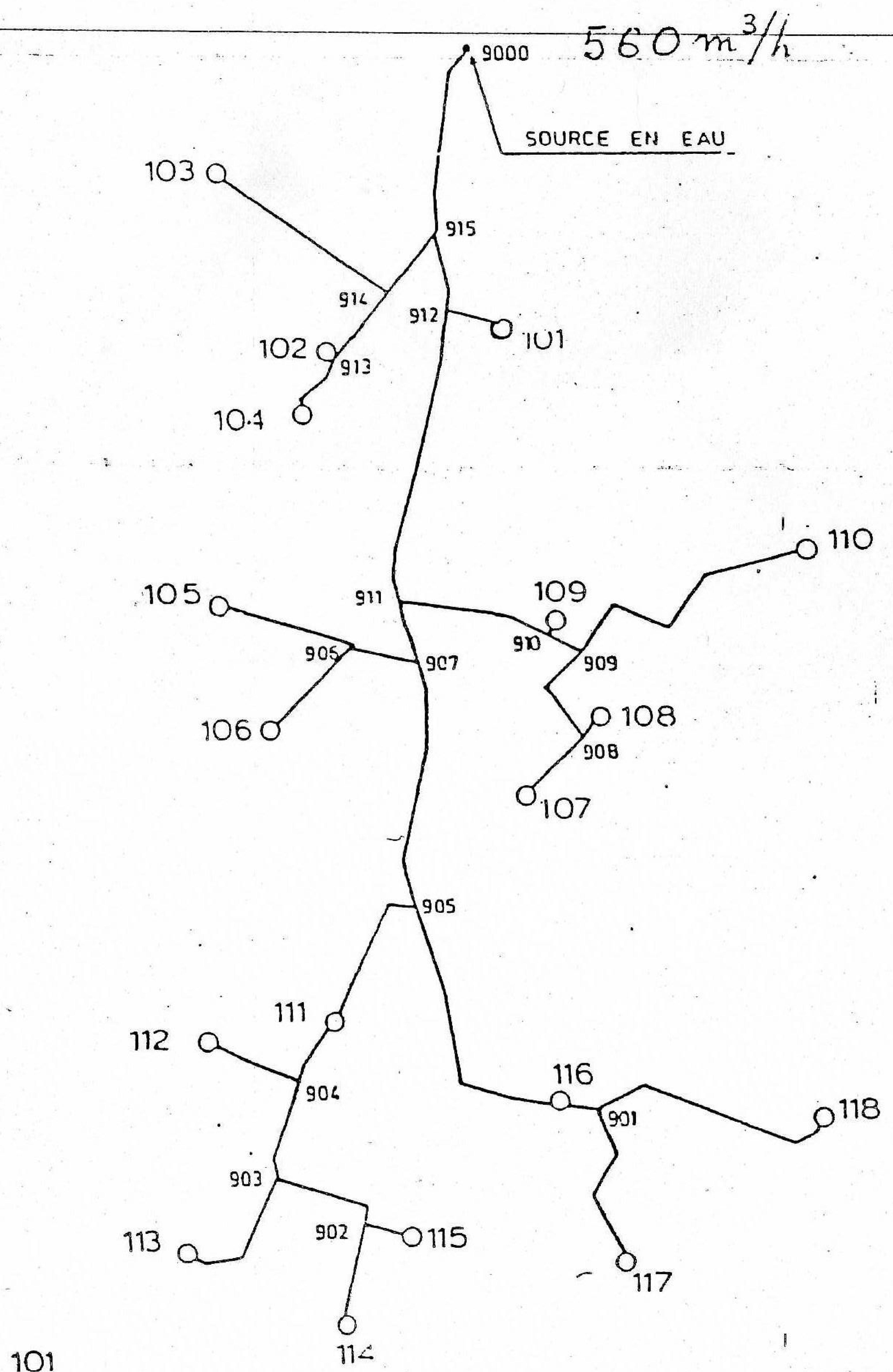
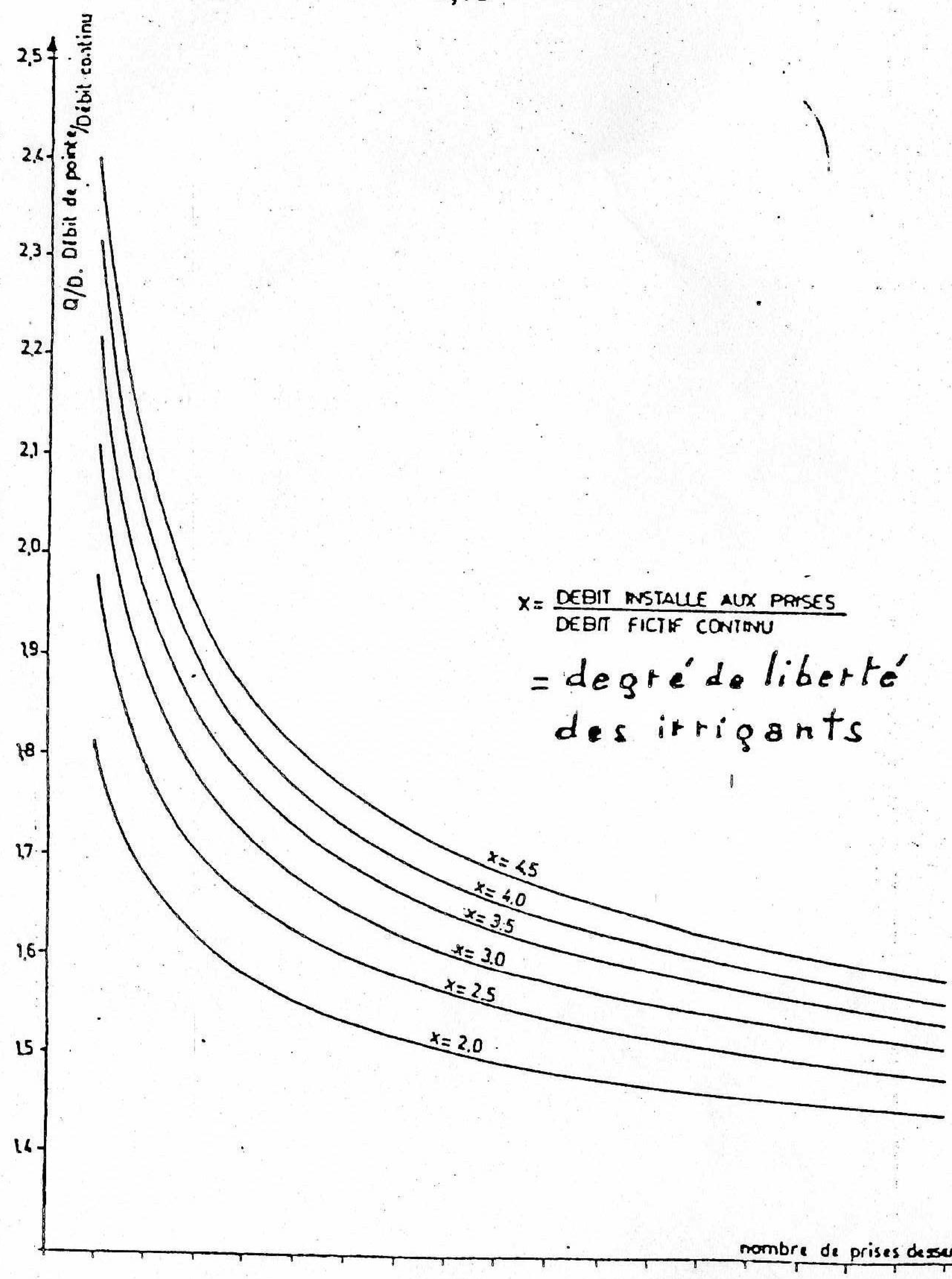


FIG. 38. — Tracé du réseau. Fonctionnement à la demande

FIG. 39. — Tracé du réseau. Fonctionnement au tour d'arrosage

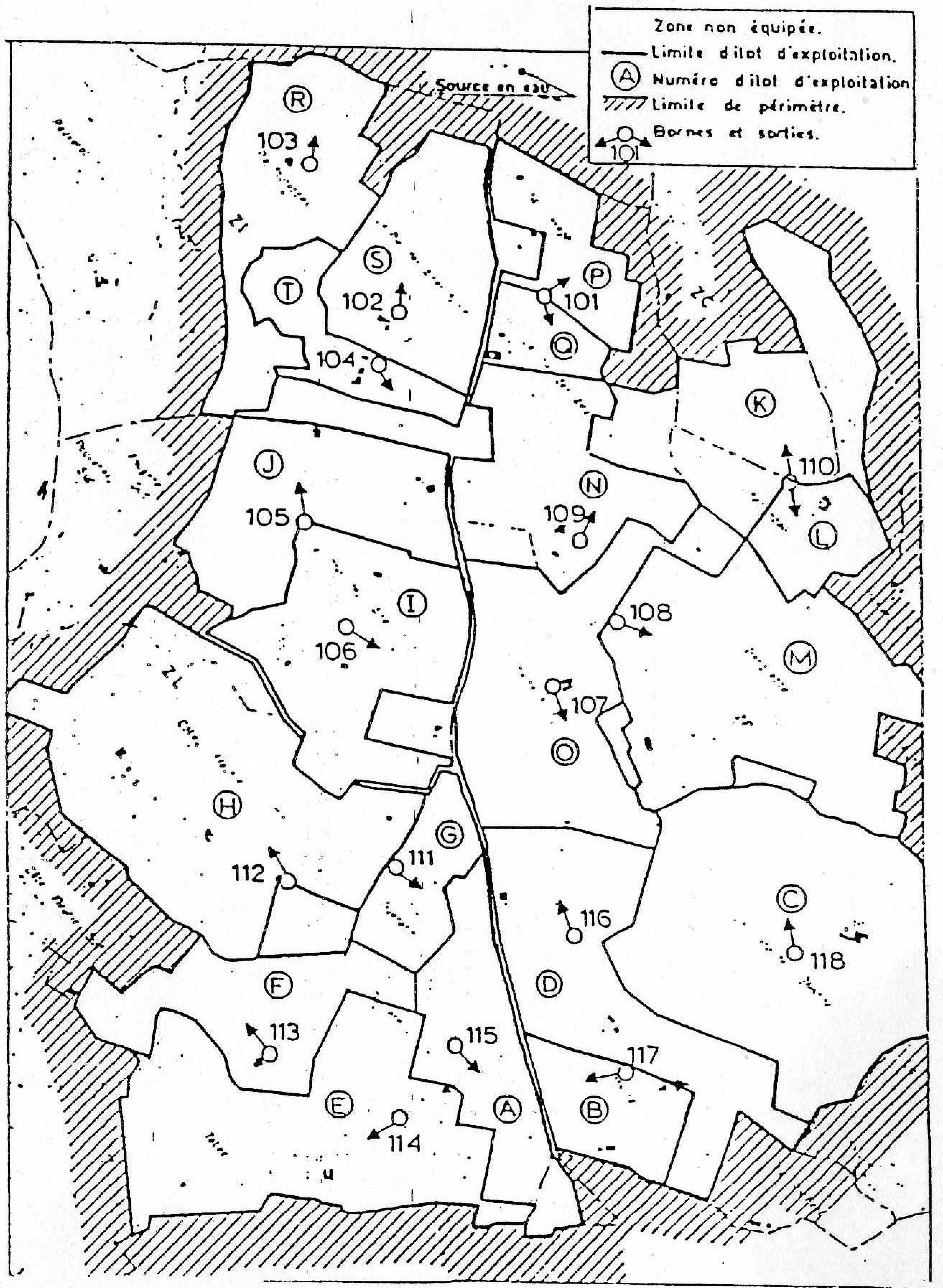
Foisonnement du débit en fonction du nombre de prises desservies

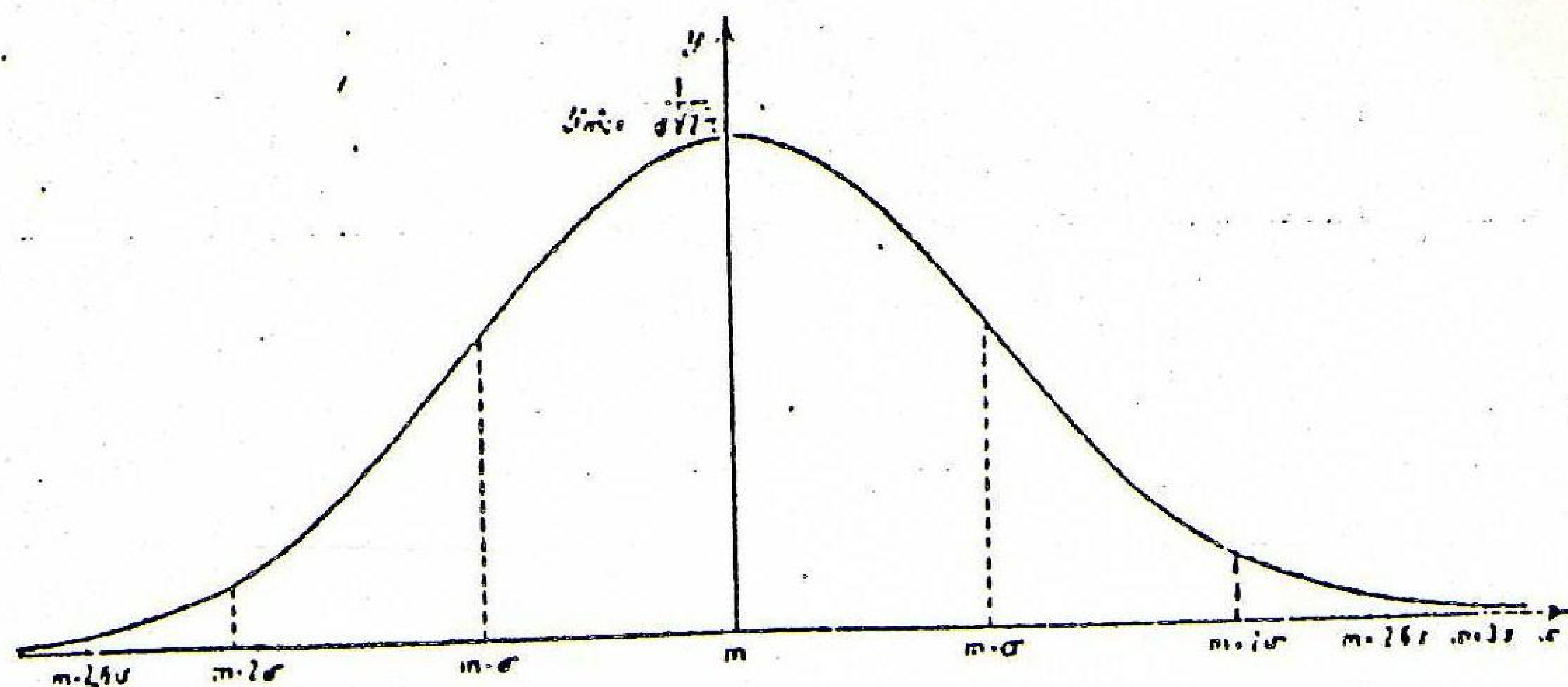
$U = 1{,}645$ ($P_q = 95\%$)
$r = 0{,}75$



$x = \frac{\text{DEBIT INSTALLE AUX PRISES}}{\text{DEBIT FICTIF CONTINU}}$ = degré de liberté des irrigants

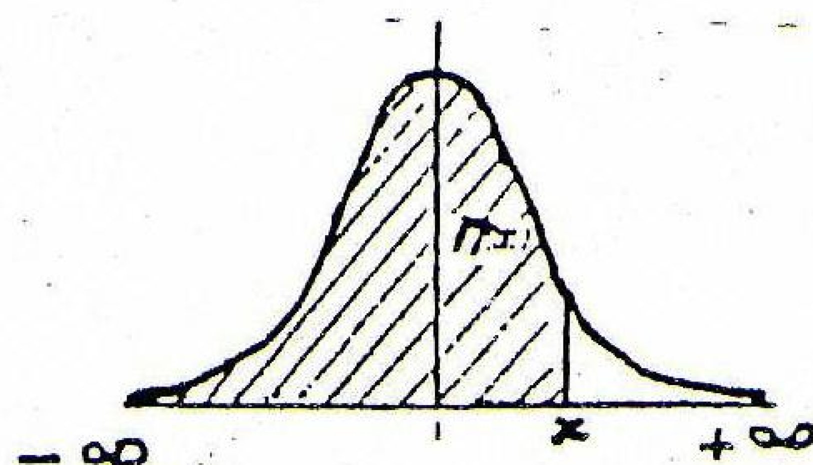
Plan des bornes





— Courbe normale $y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$.

— *Loi normale réduite : Fonction de répartition* $\Pi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-t^2/2}\, dt.$



x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9255	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Nota : La table donne les valeurs de $\Pi(x)$ pour x positif. Lorsque x est négatif il faut prendre le complément à l'unité de la valeur lue dans la table.

Exemple :

Pour $x = 1,37$ $\Pi(x) = 0,914\,7$.
Pour $x = -1,37$ $\Pi(x) = 0,085\,3$.

Paramètres de calcul
r = 0,75   Pq = 0,95 (U = 1,645) $N_0 = 4$

Débit disponible m³/h	*Surface irriguée desservie* ha
10	s < 1
20	1 ⩽ s < 2,5
30	2,5 ⩽ s < 4,0
50	4,0 ⩽ s < 6,0
70	6,0 ⩽ s < 8,0
90	8,0 ⩽ s < 11,0
125	11,0 ⩽ s ⩽ 15,0

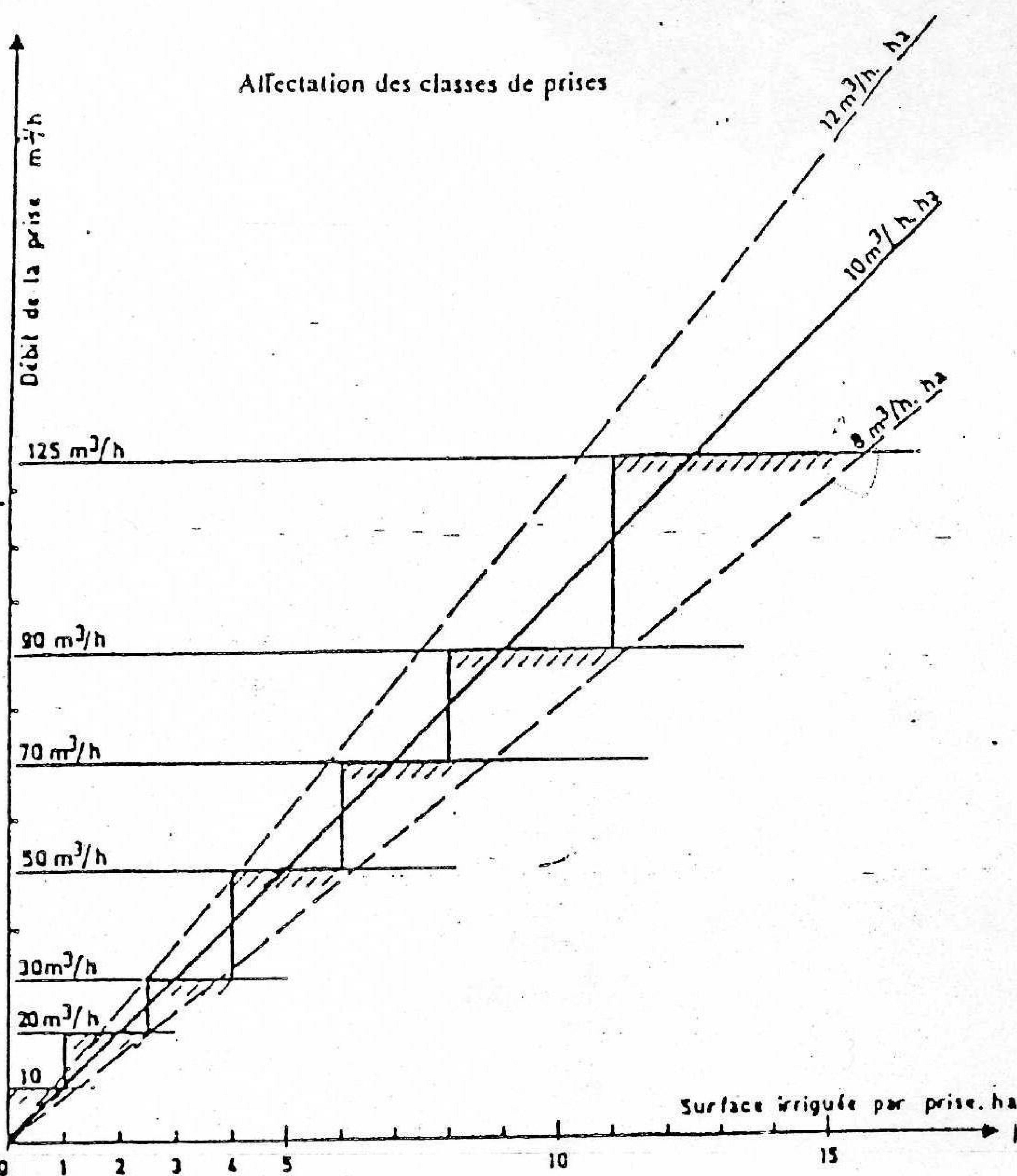


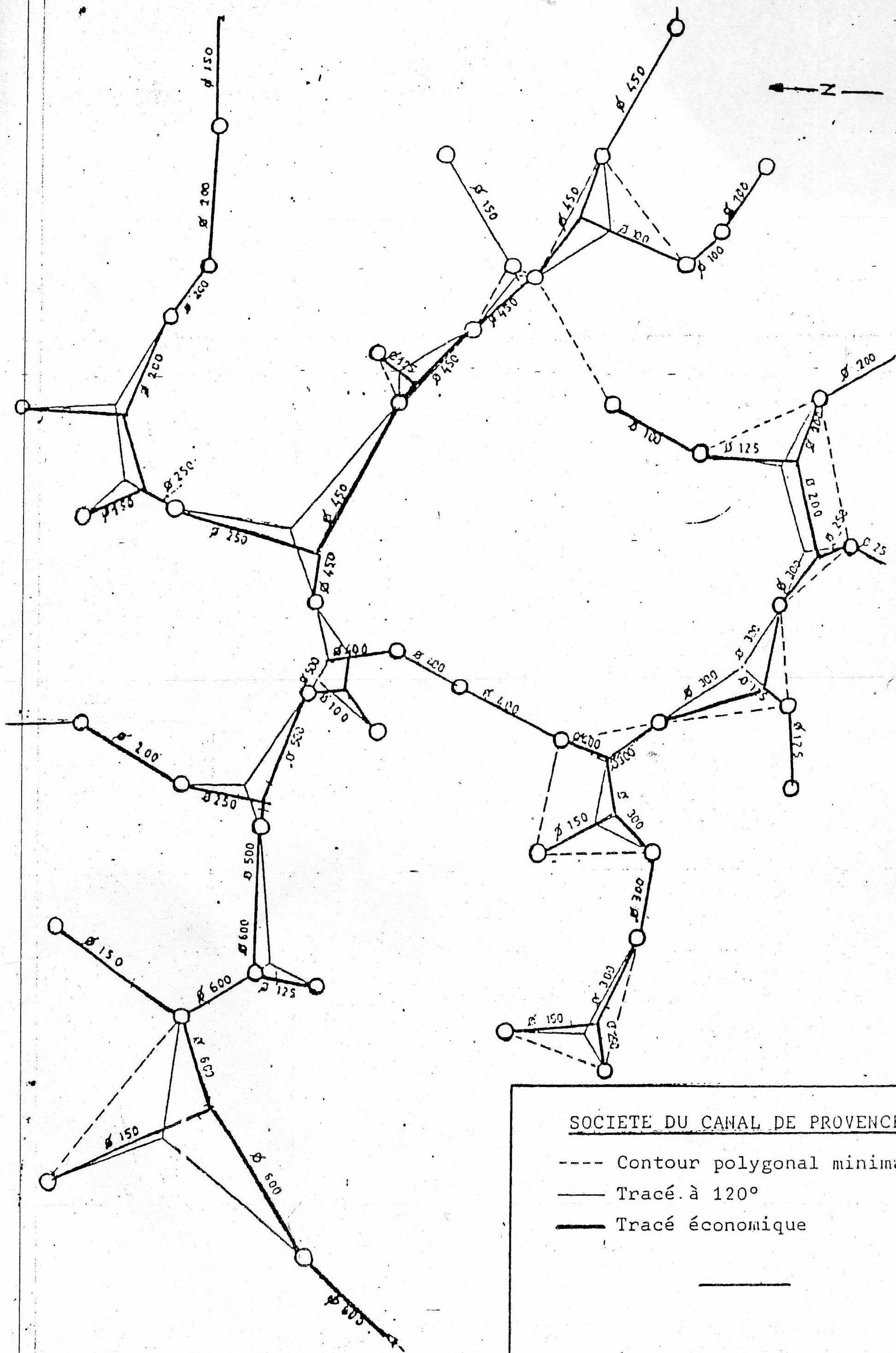
TABLEAU 8 — Débits affectés aux ilots d'exploitation

Numéro d'ilot	*Surface équipée* ha	*Surface irriguée* ha	*Débit installé* m³/h
A	11,0	5,5	50
B	9,0	4,5	50
C	30,0	15,0	125
D	15,0	7,5	70
E	17,0	8,5	90
F	10,0	5,0	50
G	6,0	3,0	30
H	16,0	8,0	90
I	15,0	7,5	70
J	12,0	6,0	70
K	10,0	5,0	50
L	5,0	2,5	30
M	10,0	5,0	50
N	10,0	5,0	50
O	22,0	11,0	125
P	8,0	4,0	50
Q	4,0	2,0	20
R	6,0	3,0	30
S	15,0	7,5	70
T	6,5	3,2	30
Ensemble	237,5	118,7	1 200

TABLEAU 9 — Calcul des débits à la demande

Numéro tronçon aval	*Surface irriguée desservie* S_i ha	*Débit fictif continu* D l/s	*Nombres de prises desservies* N_i 10 m³/h 2,8 l/s	20 m³/h 5,6 l/s	30 m³/h 8,4 l/s	50 m³/h 13,9 l/s	70 m³/h 19,5 l/s	90 m³/h 25 l/s	125 m³/h 34,8 l/s	*Débit Total installé* l/s	*Probabilité moyenne* p	*Débit de pointe* Q l/s
118	15	9,0							1	34,8	—	34,8
117	4,50	2,7				1				13,9	—	13,9
901	19,50	11,7				1			1	48,7	—	48,7
116	27,00	16,2				1	1		1	68,2	—	68,2
114	8,50	5,1						1		25,0	—	25,0
115	5,50	3,3				1				13,9	—	13,9
902	14,00	8,4				1		1		38,9	—	38,9
113	5,00	3,0				1				13,9	—	13,9
903	19,00	11,4				2		1		52,8	—	52,8
112	8,00	4,8						1		25,0	—	25,0
904	27,00	16,2				2		2		77,8	—	77,8
111	30,00	18,0			1	2		2		86,2	0,279	77,8 *
905	57,00	34,2			1	3	1	2	1	154,4	0,295	89,9
106	7,50	4,5					1			19,5	—	19,5
105	6,00	3,6					1			19,5	—	19,5
906	13,50	8,1					2			39,0	—	39,0
907	70,50	42,3			1	3	3	2	1	193,4	0,292	105,1
107	11,00	6,6							1	34,8	—	34,8
108	5,00	3,0				1				13,9	—	13,9
908	16,00	9,6				1			1	48,7	—	48,7
110	7,50	4,5			1	1				22,3	—	22,3
909	23,50	14,1			1	2			1	71,0	—	71,0
109	5,00	3,0				1				13,9	—	13,9
910	28,50	17,1			1	3			1	84,9	0,269	71,0 *
911	99,00	59,4			2	6	3	2	2	278,3	0,285	137,2
101	6,00	3,6		1		1				19,5	—	19,5
912	105,00	63,0		1	2	7	3	2	2	297,8	0,282	142,8
104	3,25	1,95			1					8,4	—	8,4
102	7,50	4,5					1			19,5	—	19,5
913	10,75	6,45			1		1			27,9	—	27,9
103	3,00	1,8			1					8,4	—	8,4
914	13,75	8,25			2		1			36,3	—	36,3
915	118,75	71,25		1	4	7	4	2	2	334,1	0,284	156,3

* Situation où le débit de pointe est inférieur au débit du tronçon amont (4 prises cumulées).


N
SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE
---- Contour polygonal minimal
—— Tracé à 120°
▬▬ Tracé économique

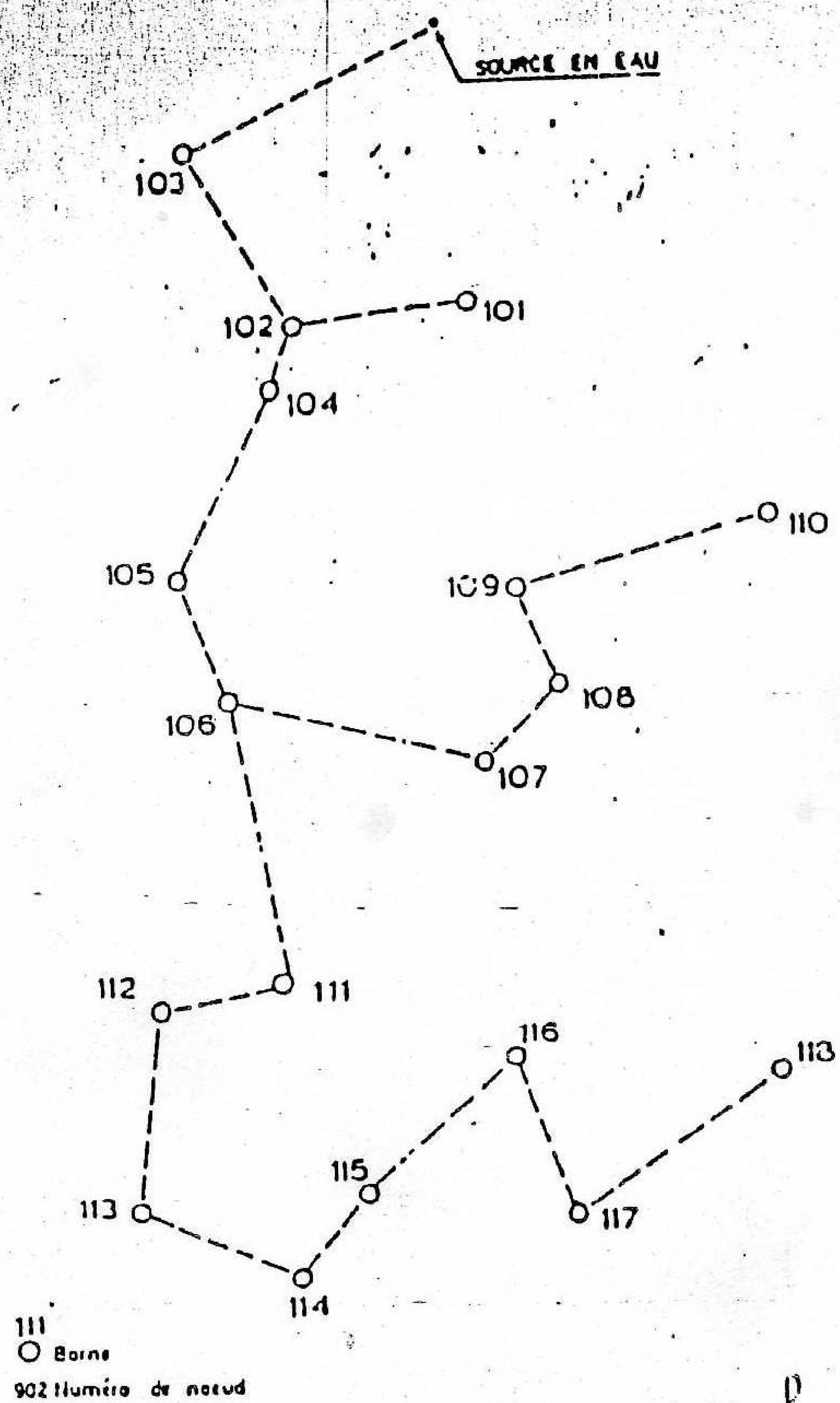


Fig. 31. — Tracé par proximité $\ell = 105{,}9$

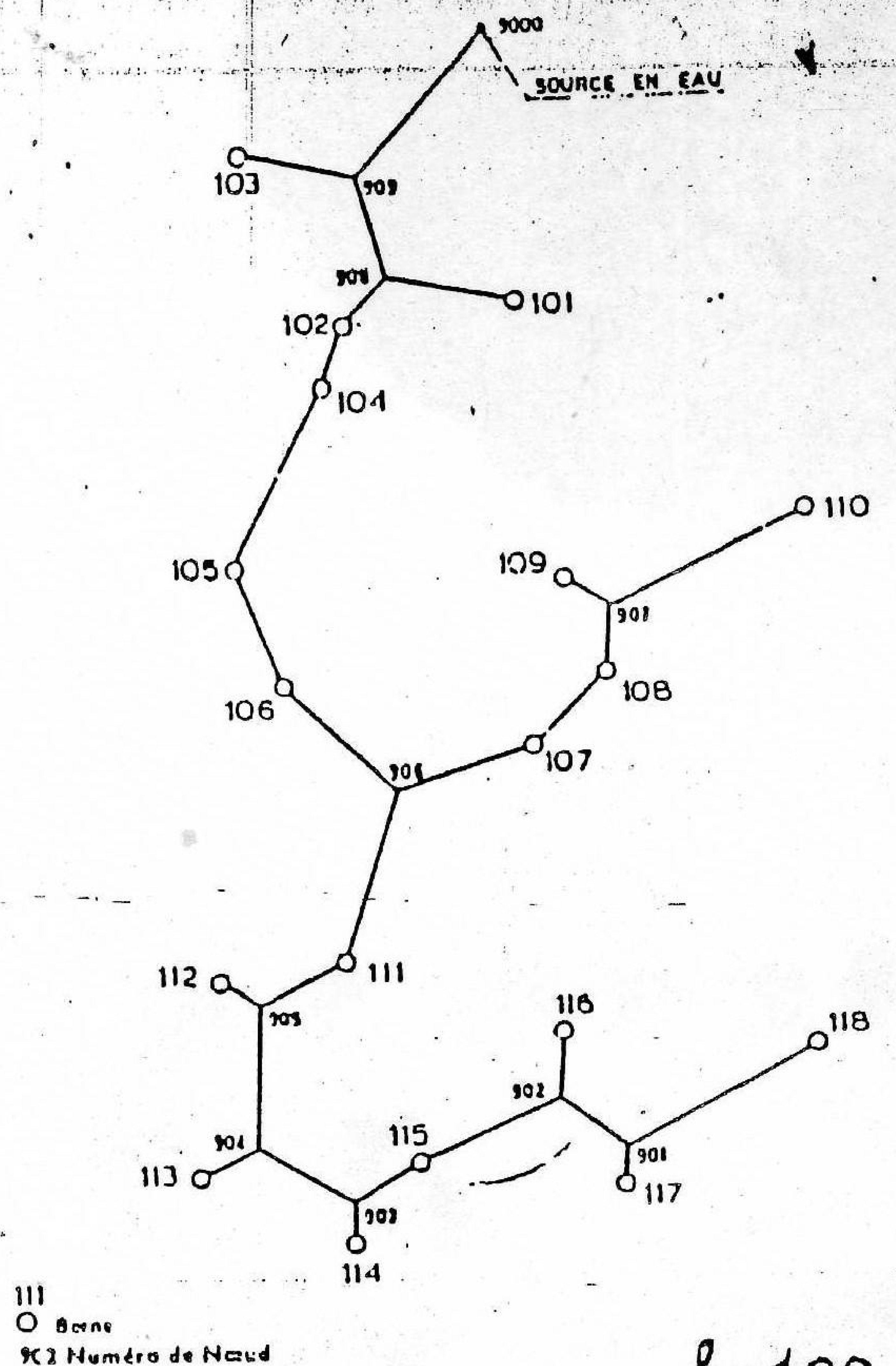


Fig. 32. — Tracé à 120° $\ell = 100$
coût = 108,2

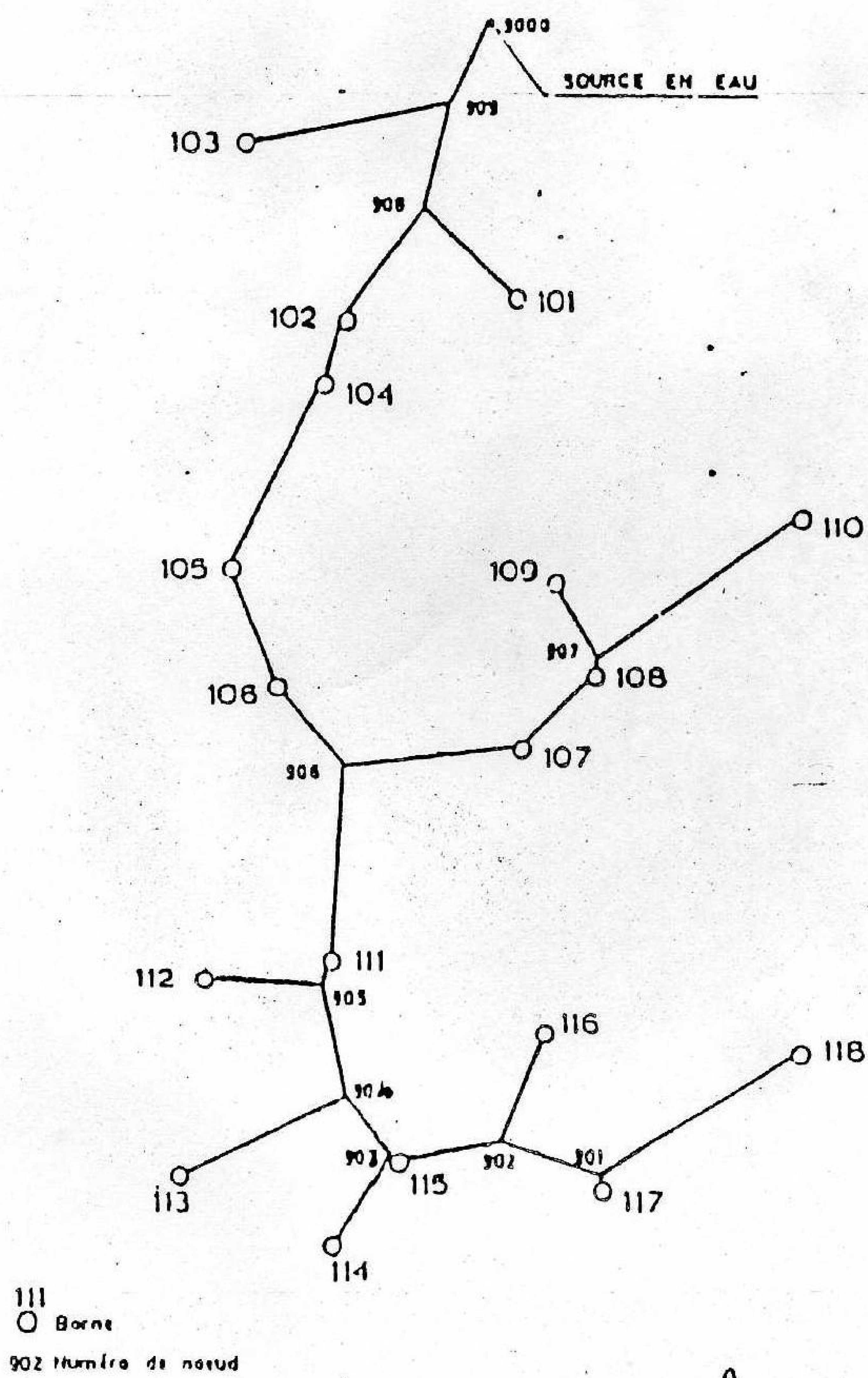


Fig. 33. — Tracé économique $\ell = 104{,}6$
coût = 100

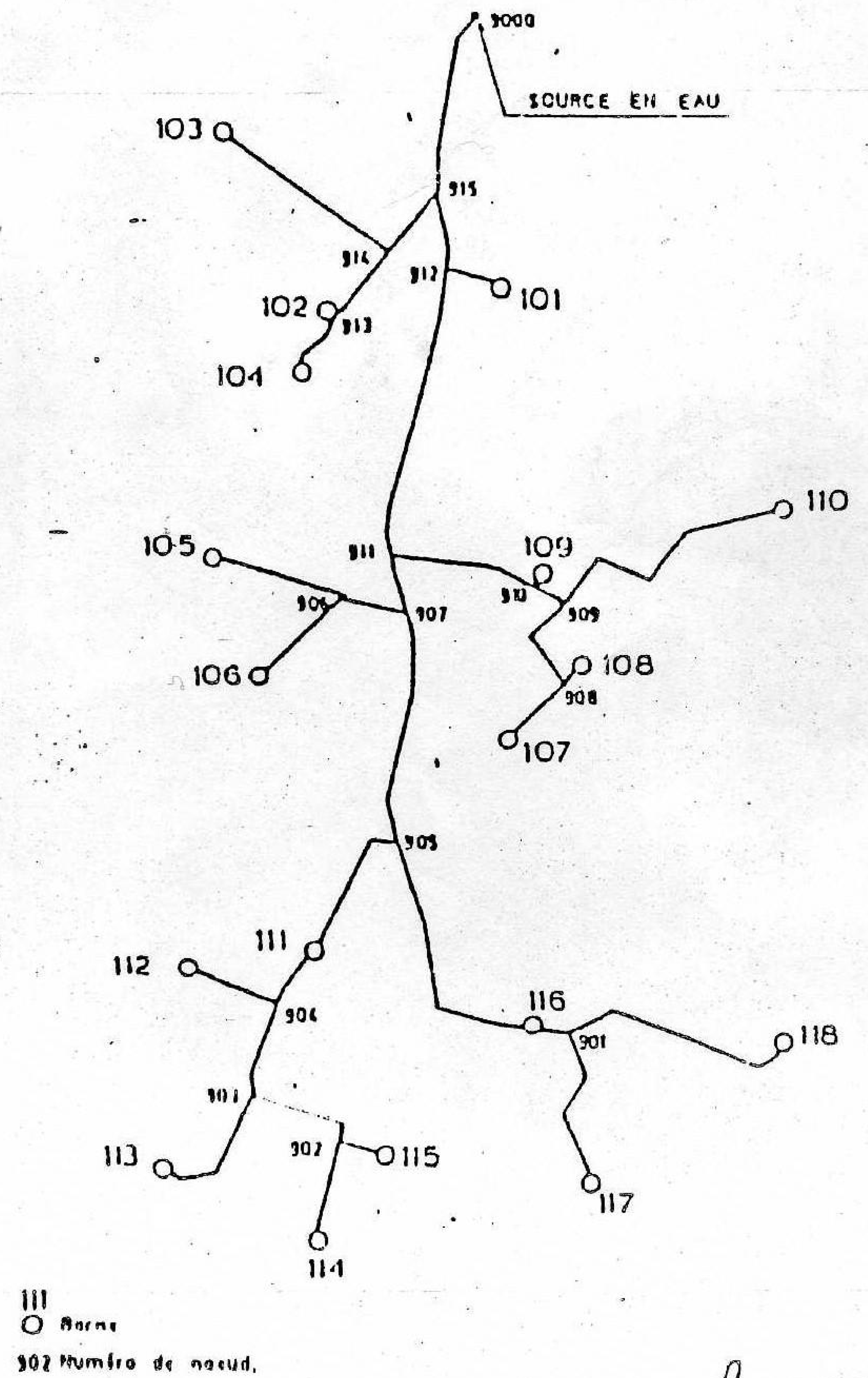


Fig. 34. — Tracé adapté au terrain $\ell = 126{,}9$
coût = 107,6